



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 53 983 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 02 B 13/24**  
G 02 B 13/14  
G 03 F 7/20

⑲ Aktenzeichen: 196 53 983.8  
⑳ Anmeldetag: 21. 12. 96  
㉑ Offenlegungstag: 25. 6. 98

DE 196 53 983 A 1

⑦ Anmelder:  
Fa. Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

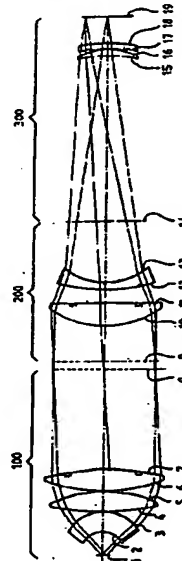
⑧ Erfinder:  
Schultz, Jörg, 73431 Aalen, DE; Wangler, Johannes,  
89551 Königsbrunn, DE; Schuster, Karl-Heinz,  
89551 Königsbrunn, DE

7 US, 6 306, 410

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤④ REMA-Objektiv für Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlagen

⑤⑦ Ein REMA-Objektiv wird durch Einführung weniger (3-5 Stück) Asphären (7, 11, 17) bei hochwertiger Korrektur mit geringer Linsenzahl (bis 10) und wenig Glasweg (25-30% maximal des Objekt-Retikel-Abstands) realisiert, so daß der Wirkungsgrad erhöht ist.



DE 196 53 983 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein REMA-Objektiv. Dies ist ein Objektiv, mit dem eine Retikel-Maskiereinrichtung (REMA) in die Ebene des Retikels, das die strukturierte Maske für die Lithographie trägt, abgebildet wird. Der auf dem Retikel ausgeleuchtete Bereich wird damit scharf berandet. Gewöhnlich ist die Retikel-Maskiereinrichtung mit verstellbaren Schneiden aufgebaut. Die Abbildung ist normalerweise vergrößernd.

Ein REMA-Objektiv gelangt in Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlagen (Stepper oder Scanner) zum Einsatz.

Aus DE-U 94 09 744 ist eine Beleuchtungseinrichtung für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage bekannt, bei der in angegebener Reihenfolge vorgesehen sind: Lichtquelle, Verschluss, Einkoppelobjektiv (Zoom-Axi-con), Glasstab als Integrator, Retikel-Masking-System, REMA-Objektiv zur Abbildung der im Retikel-Masking-System liegenden Zwischenfeldebene auf das Retikel, enthaltend eine erste Linsengruppe, eine Pupillen-Zwischenebene, eine zweite Linsengruppe, einen Umlenkspiegel, eine dritte Linsengruppe und die Retikel-Ebene mit dem Retikel. Danach folgt ein Projektionsobjektiv, das normalerweise verkleinert und – zum Beispiel bei nicht telezentrischem Eingang – eine innenliegende Pupillenebene enthält, dann der Wafer in der Bildebene.

In dem System nach EP 0 526 242 A1 ist nach dem Integrator, hier ein Wabenkondensor, zunächst ein Projektionsobjektiv vorgesehen, bevor das Retikel-Masking-System folgt. Über zwei Linsengruppen und Spiegel ist das Retikel-Masking-System zur Retikel-Ebene optisch konjugiert, wird also abgebildet. Zugleich wird die Blende am Austritt des Integrators – die sekundäre Lichtquelle – durch die zwei Linsengruppen und Teile des Projektionsobjektivs auf die Pupille des Projektionsobjektivs abgebildet. Zu Bildfehlern wird dabei nichts ausgesagt.

In der WO 95/32446 der Anmelderin ist ein höchstaperturiges katadioptrisches Reduktionsobjektiv für die Mikrolithographie beschrieben, zu dessen Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 und Tabelle 2 das hier gezeigte Ausführungsbeispiel eines REMA-Objektivs genau passend ist.

Die nicht vorveröffentlichte Patentanmeldung DE 195 48 805.9 vom 27. 12. 1995 beschreibt REMA-Objektive mit ausschließlich sphärischen Linsenflächen. Das dortige Ausführungsbeispiel hat 13 Linsen und ist in seinen optischen Eigenschaften dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel (Fig. 1) sehr ähnlich. Beide REMA-Objektive passen hinsichtlich ihrer Pupillenfunktion hervorragend zu dem Projektionsobjektiv der WO 95/32446.

Die genannte WO-Schrift wie die DE 195 48 805.9 und die DE-U sind daher ausdrücklich Teil der Offenbarung dieser Patentanmeldung.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein REMA-Objektiv anzugeben, das erheblich weniger Grenzflächen – an denen Reflexionsverluste auftreten – und erheblich weniger Glasweg – in dem Absorption erfolgt – aufweist und somit einen wesentlich verbesserten Transmissionswirkungsgrad hat. Bei den optischen Eigenschaften können dabei keine Abstriche gemacht werden.

Gelöst wird diese Aufgabe durch ein REMA-Objektiv mit wenigen, höchstens vier bis fünf, Asphären nach einem der unabhängigen Ansprüche 1 oder 2 und durch eine komplette Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 16.

An sich ist bekannt, daß Asphären neue Korrekturmöglichkeiten eröffnen und dadurch Linsen eingespart werden können. Es ist aber auch klar, daß Asphären den Herstell- und Qualitätsprüfungsaufwand drastisch erhöhen, so daß sie hinsichtlich ihrer Zahl und ihrer Abweichung von der Sphärenform sparsam eingesetzt werden müssen.

Überraschend ist es gelungen, mit nur drei bis vier, höchstens fünf, Asphären, deren Abweichungen von der Sphärizität mäßig sind, die Linsenzahl und den Glasweg jeweils unter 60% zu reduzieren. Die hohen Anforderungen an ein REMA-Objektiv werden dabei weiterhin erfüllt, der Wirkungsgrad (die Transmission) ist jedoch deutlich erhöht.

Anspruch 1 macht diese Beziehung deutlich. Anspruch 2 ist am Aufbau orientiert, mit Kondensor-, Zwischen- und Feldlinsenteil.

Die Unteransprüche 3 bis 15 betreffen vorteilhafte Ausführungsformen.

Anspruch 3 quantifiziert den reduzierten Glasweg auf unter 30%, vorzugsweise unter 25%, des Objekt-Retikel-Abstands.

Die Ansprüche 7 und 8 betreffen dabei die Anpassung an die spezielle bevorzugte Umgebung mit REMA am Ausgang eines Glasstabs bzw. mit einem verkleinernden katadioptrischen Projektionsobjektiv.

Anspruch 15 beschreibt die Anpassung an die Pupillenfunktion eines Projektionsobjektivs mit sehr guter Telezentrie mit sehr geringen Abweichungen. Die geringen Abweichungen der Hauptstrahlen des Projektionsobjektivs von der Parallelität werden also vom REMA-Objektiv sehr gut getroffen.

Der unabhängige Anspruch 16 nimmt für eine gesamte Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage diese gute Anpassung des REMA-Objektivs mit den beschriebenen wenigen Elementen an das zugehörige Projektionsobjektiv auf. Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Zeichnungen.

Fig. 1 zeigt den Linsenschnitt eines REMA-Objektivs mit drei Asphären;

Fig. 2 zeigt ein Mikrolithographie-Projektionsbelichtungssystem schematisch;

Fig. 3 zeigt eine vorgegebene Pupillenfunktion;

Fig. 4 zeigt im Beispiel realisierte Abweichungen der Pupillenfunktion zu Fig. 3; und

Fig. 5 zeigt den Linsenschnitt eines anderen Ausführungsbeispiels mit vier Asphären.

Das Ausführungsbeispiel eines REMA-Objektivs mit dem Linsenschnitt der Fig. 1 hat die Daten der Tabelle 1. Es besteht aus einem Kondensor 100, ausgebildet als Teilobjektiv, vor der Aperturblende 8, einem Zwischenteil 200 und einem Feldlinsenteil 300. In jedem dieser Teile ist eine Asphäre 7, 11, 17 vorgesehen. Das REMA-Objektiv hat also nur sieben Linsen. Die planen Flächen 9 und 14 haben nur Platzhalterfunktion. Im Bereich von 14 kann ein Umlenkspiegel (240 in Fig. 2) angeordnet werden.

Die Beschreibung der asphärischen Flächen erfolgt nach der Formel:  $p(h) = (h^2/R + \sqrt{R^2 - (1+k)h^2}) + c_1 h^4 + \dots + c_n h^{2n+2}$ .

Dabei ist p die Pfeilhöhe, h der Abstand zur optischen Achse, R der Scheitelradius, k die konische Konstante und c1 bis cn sind die Asphärenkonstanten. Als asphärische Flächen werden dabei alle optischen Flächen mit einer rotations-

symmetrischen Abweichung von der bestangepaßten Sphäre oberhalb von ca. 5 Mikrometer gesehen. Die nützlichen Asphäritäten liegen vorwiegend in der Größenordnung 0,1 bis 1 nm.

Das Objektiv bildet die Objektebene 1, in der das Reticle-Masking-System angeordnet wird, mit dem Objekt-Bild-Abstand von 1200 mm auf die Retikelebene 19 ab. Die Lufträume an der Objektebene 1, an der Blendenebene 8, zwischen dem Zwischenteil 200 und dem Feldlinsenteil 300, sowie an der Retikelebene 19 sind großzügig bemessen, so daß die dort anzuordnenden Teile – das REMA-System 90, Korrekturalelemente in der Blendenebene, ein Umlenkspiegel 240 und das Handling-System 330 (vgl. Fig. 2) für das Retikel – problemlos untergebracht werden können.

Die Hauptfunktion eines REMA-Objektivs, die Abbildung einer Hell-Dunkel-Kante (Schneide der REMA-Blende) von der Objektebene 1 auf die Retikelebene 19 mit einem Kantenverlauf, dessen Helligkeitswerte 5% und 95% um weniger als 5%, vorzugsweise weniger als 0,5% des Bildfelddurchmessers auseinanderliegen, wird mit Abstand erfüllt:

Der Abstand ist 0,4% des Bildfelddurchmessers von 42,1 mm. Mit dieser Angabe ist ein integrales Maß für alle Bildfehler im gesamten Bildfeld gegeben, welches unmittelbar an der Funktion des REMA-Objektivs orientiert ist.

Diese gute Korrektur ist schwierig, da das REMA-Objektiv den beträchtlichen Lichtleitwert von 11,4 mm (Produkt aus dem Bildfelddurchmesser 19 mm und der objektseitigen numerischen Apertur  $NAO = 0,6$ ) aufweist. Generell sind für derartige Objektive Lichtleitwerte größer als 10 mm erforderlich.

Die Vergrößerung des REMA-Objektivs ist 4,444 : 1.

Eine weitere Kernfunktion des REMA-Objektivs ist es, daß in jedem Punkt der Bildebene 19 der ankommende Hauptstrahl, d. h. der Schwerstrahl des auftreffenden Lichtkegels, sich nur wenig vom vorgegebenen Hauptstrahl eines nachfolgenden Projektionsobjektivs unterscheidet, und zwar um weniger als 3 mrad. Das ist gleichbedeutend mit der Forderung, daß in der Retikelebene 19 eine vorgegebene Pupillenfunktion – siehe Fig. 3, – mit geringsten Abweichungen reproduziert werden muß. Wie Fig. 4 zeigt, wird dies einwandfrei erreicht.

In Fig. 3 ist der Sinus des Hauptstrahlwinkels  $\sin(i)$  als Funktion der Bildhöhe YB in der Retikelebene 19 dargestellt, in der Fig. 4 entsprechend die Abweichung  $\sin(i)$ , welche in einem Band von  $\pm 0,11$  mrad um Null liegt.

Es wird von der Anpassung an doppeltelezentrische Projektionsobjektive ausgegangen, so daß das REMA-Objektiv bildseitig ebenfalls mit hoher Güte telezentrisch ist. Auch objektseitig ist es absolut telezentrisch.

Für die Anpassung maßgeblich ist die Ausführung der Feldlinsengruppe 300. Sie ist im Beispiel reduziert auf das Minimum von zwei Linsen, der Sammellinse 15, 16 und der zerstreuen Linse 17, 18. Die dabei notwendige Asphäre – sonst wären viele sphärische Elemente erforderlich – ist die Fläche 17. In diesem Bereich sind die Hauptstrahlhöhen größer als die Randstrahlhöhen.

Eine der Flächen, vorzugsweise die letzte Fläche 18, kann auch plan gemacht werden, so daß sie geeignet ist, einen Graufilter zur Steuerung der Intensitätsverteilung auf dem Retikel als dünne Schicht zu tragen.

Der Kondensorteil 100 ist als Teil-Objektiv ausgebildet, dessen Objektebene im Unendlichen liegt. Die Blende liegt in der Objektebene 1 des Gesamtobjektivs und die Bildebene in der Blende 8 des Gesamtobjektivs. Die Randstrahlen des Teilobjektivs entsprechen damit telezentrischen Hauptstrahlen des Gesamtobjektivs, die Hauptstrahlen des Teilobjektivs entsprechen den Randstrahlen des Gesamtobjektivs.

Das Bild dieses Teilobjektivs (Kondensorteil 100) in der Ebene der Blende 8 soll möglichst gut korrigiert sein, da damit in dieser Ebene 8 Korrekturalelemente untergebracht werden können und eine saubere Blendenfunktion erreicht wird. Demgemäß wird die Koma, ausgedrückt als Querabweichung, in ihrem Maximalwert kleiner als 1%, vorzugsweise kleiner als 0,2%, des Bildfelddurchmessers dieser Teilabbildung gemacht. Im Beispiel erreicht werden 0,08%. Dazu enthält das Kondensorteil mindestens eine zum Objekt 1 hin krumme Hohlfläche, für die das Öffnungsverhältnis von Krümmungsradius zu Linsendurchmesser nahe beim Minimum von 0,5 für die Halbkugel liegt. Im Beispiel ist der Wert an der Fläche 2 gleich 0,554. Generell ist er kleiner als 0,65 zu wählen.

Bei Verwendung von einer (wie in Fig. 1) Asphäre 7 bis zweier Asphären reichen nun drei (2/3, 4/5, 6/7) bis vier Linsen zur Realisierung dieser Funktionen des Kondensorteils 100.

Der Zwischenteil 200 weist ebenfalls eine Asphäre 11 auf. Er kommt jetzt mit einem Linsenpaar 10/11, 12/13 aus, wobei die Fläche 13 folgende Bedingung erfüllt:

Sie ist eine krumme Hohlfläche mit  $|\sin(i_{\text{Rand}})| \geq 0,8$  NAO. Diese Fläche 13 bewirkt also eine starke Brechung im Randbereich.

Das erfindungsgemäße REMA-Objektiv weist also alle Funktionen des REMA-Objektivs nach der DE 195 48 805.9 auf, die Ausführung des Beispiels nach Fig. 1 kann das dortige Ausführungsbeispiel der Fig. 1 unmittelbar substituieren. Drastisch ist aber die Wirkung der wenigen Asphären 7, 11, 17:

Der Kondensorteil 100 schrumpft von 5 auf 3 Linsen, der Zwischenteil 200 kommt mit nur noch 2 nach 4 Linsen aus, und im Feldlinsenteil 300 halbiert sich die Linsenzahl ebenso auf 2. Insgesamt sind bei diesem Beispiel nur noch 7 Linsen vorhanden (maximal 10 bei anderen Ausführungen).

Der Glasweg, also die Summe aller Glasdicken der Linsen auf der optischen Achse, beläuft sich hier nur noch auf 235 mm gegenüber 396 mm bei der älteren Anmeldung, bei einem Objektiv-Bild-Abstand 1–19 von 1200 mm in beiden Fällen. Der Glasweg wird also um über 40% reduziert, der Anteil an der Schnittweite beträgt nur noch 20%, auch bei anderen Ausführungen stets nur bis zu 25–30% der Schnittweite.

Die Transmission von hochwertigem Quarzglas bei 248 nm ist ca. 99,9%/cm. Durch Alterungsprozesse (Strahlungsschäden, Farbzentrenbildung) reduziert sich der Wert im Lauf des Betriebs. An den Glas-Luft-Grenzschichten können mit hochwertigen Antireflexschichten bei 248 nm Transmissionsgrade von ca. 99,5% erreicht werden.

Während das REMA-Objektiv nach DE 195 48 805.9 damit maximal 84,4% Transmissionswirkungsgrad erreicht, liegt der Wert beim Beispiel Fig. 1 immerhin bei 91,1%.

Noch wichtiger wird diese Verbesserung des Transmissionswirkungsgrades bei Systemen für niedrigere Wellenlängen, beispielsweise 193 nm, da dort die Transmission von Quarz (und auch von möglichen Alternativen) deutlich abfällt und die Ausführung von Antireflexschichten schwieriger ist. Gleichzeitig fallen die Materialkosten noch mehr ins Gewicht und wird die Laserleistung teurer und damit werden auch die Lichtverluste teurer.

Da die vorliegende Konstruktion unter Berücksichtigung des geänderten Brechungsindex an die Verhältnisse bei an-

# DE 196 53 983 A 1

deren, speziell niedrigeren, Wellenlängen angepaßt werden kann, ist die Erfindung für diese Entwicklung zu niedrigeren Wellenlängen besonders wertvoll.

Fig. 2 zeigt einen schematischen Überblick über den optischen Teil einer gesamten Projektionsbelichtungsanlage (Wafer-Stepper), in die das erfindungsgemäße REMA-Objektiv 123 integriert ist.

Ein KrF-Excimer-Laser 50 mit 248 nm Wellenlänge dient als Lichtquelle. Eine Einrichtung 60 dient zur Strahlformung und Kohärenzreduktion. Ein Zoom-Axicon-Objektiv 70 ermöglicht die bedarfsgerechte Einstellung verschiedener Beleuchtungsarten. Es ist, wie die gesamte Anordnung (außer den erfindungsgemäßen Merkmalen des REMA-Objektivs 123) beispielsweise aus der EP-A 0 687 956 oder aus DE-U 94 09 744 (beide von der Anmelderin) bekannt. Das Licht wird in den Glasstab 80 eingekoppelt, der zur Mischung und Homogenisierung dient.

Unmittelbar daran schließt das Retikel-Maskierungssystem 90 an, das in der Objektebene 1 des REMA-Objektivs 123 liegt. Dieses besteht aus der ersten Linsengruppe 100, der Pupillenebene (Blendenebene) 14, der zweiten Linsengruppe 200, dem Umlenkspiegel 240, der dritten Linsengruppe 300 und der Bildebene 33. Hier ist das Retikel 330 angeordnet, das von der Wechsel- und Justiereinheit 331 präzise positioniert wird. Es folgt das katadioptrische Projektionsobjektiv 400 nach WO 95/32446 mit der Pupillenebene 410. Die Eintrittspupille liegt im Ausführungsbeispiel der Tabellen 1 und 2 allerdings nahezu im Unendlichen vor dem Projektionsobjektiv. In der Bildebene ist der Wafer 500 angeordnet.

Fig. 5 zeigt den Linsenschnitt eines anderen Ausführungsbeispiels mit 4 Asphären 505, 509, 514, 520 und insgesamt 18 Grenzflächen von 8 Linsen und einer Planplatte 521, 522. Tabelle 2 gibt dazu die Abmessungen an. Die Flächen 511 und 516 haben nur Stauhalterfunktion. Abbildungsmaßstab (4,730 : 1) und Bildfeld (Durchmesser 127 mm) unterscheiden sich hier nicht wesentlich vom Beispiel Fig. 1. Größer ist allerdings der Lichtleitwert mit 16,2 mm.

Auch hier ist schon die Linsenzahl und der Glasweg mit 22% des Objekt-Bild-Abstands gegenüber einem rein sphärischen Design drastisch reduziert. Wie der Vergleich mit Fig. 1 zeigt, birgt aber gerade der Kondensorteil 550 mit hier 4 Linsen, davon 2 Asphären 505, 509, noch Verbesserungsmöglichkeiten. Trotzdem ist die Verbesserung im Vergleich zum rein sphärischen REMA-Objektiv schon beträchtlich, bei mäßigem Einsatz von Asphären.

Tabelle 1

Maßstab: 4,444 : 1

Wellenlänge: 248,33 nm

	Radius	Dicke	Material
35	1	55,240	
	2	-38,258	46,424
	3	-66,551	,633
40	4	881,696	45,341
	5	-190,791	,924
	6	374,111	47,958
45	7	-287,518	222,221
	8	Blende	17,900
	9	$\infty$	79,903
50	10	164,908	52,350
	11	-1246,141	27,586
	12	280,226	19,580
55	13	114,495	133,941
	14	$\infty$	365,253
	15	-216,480	12,551
60	16	-113,446	1,399
	17	-329,056	10,797
	18	-552,687	60,000
65	19	$\infty$	,000

# DE 196 53 983 A 1

Fläche Asphärische Konstanten

7 K = -,00640071 C1 = ,347156E-07 C2 = ,802432E-13 C3 = -,769512E-17 C4 = ,157667E-21  
 11 K = +,00104108 C1 = ,431697E-07 C2 = -,564977E-13 C3 = -,125201E-16 C4 = ,486357E-21  
 17 K = +,00121471 C1 = -,991033E-07 C2 = -,130790E-11 C3 = -,414621E-14 C4 = ,200482E-17 C5 = -,392671E-21

Tabelle 2

Maßstab: 4,730 : 1

Wellenlänge: 248,33 nm

	Radius	Dicke	Material	
501	$\infty$	49,615		15
502	-36,076	39,343	Quarz	
503	-58,772	7,280		20
504	769,933	46,491	Quarz	
505	-154,827	24,882		
506	251,853	42,379	Quarz	25
507	-5038,206	177,092		
508	1206,092	26,134	Quarz	
509	-382,601	2,521		30
510	Blende	16,000		
511	$\infty$	48,808		
512	220,678	54,515	Quarz	35
513	-329,344	23,787		
514	-2544,603	12,265	Quarz	
515	107,244	178,887		40
516	$\infty$	312,788		
517	-634,092	24,232	Quarz	
518	-177,052	24,158		45
519	-1168,238	15,641	Quarz	
520	-3520,690	9,182		
521	$\infty$	4,000	Quarz	50
522	$\infty$	60,000		
523	$\infty$	,000		55

Fläche Asphärische Konstanten

505 K = -,11512040 C1 = ,36489383E-07 C2 = ,16169445E-11 C3 = -,70228033E-16 C4 = ,36695356E-20  
 509 K = -,01464591 C1 = ,37060030E-07 C2 = ,92577260E-12 C3 = -,10037407E-16 C4 = ,29843433E-20  
 514 K = +,00003903 C1 = ,13705523E-08 C2 = ,90824867E-12 C3 = ,81297785E-16 C4 = ,56418498E-20  
 520 K = -,000150010 C1 = ,17085177E-07 C2 = ,18373060E-10 C3 = -,49871601E-14 C4 = ,61193181E-18 C5 = -,23186913E-22

Patentansprüche

1. REMA-Objektiv mit drei- bis achtfacher Vergrößerung, einem Lichtleitwert größer als 10 mm, bei dem die Abbildung einer Hell-Dunkel-Kante von der Objektebene (1) auf die Retikelebene (19) einen Kantenverlauf ergibt,

# DE 196 53 983 A 1

dessen Helligkeitswerte 5% und 95% um weniger als 2%, vorzugsweise weniger als 0,5%, des Bildfelddurchmessers auseinanderliegen, dadurch gekennzeichnet, daß nicht mehr als 10 Linsen, dabei 1 bis 5, vorzugsweise 3 bis 4, asphärische Flächen (7, 11, 17), vorgesehen sind.

2. REMA-Objektiv, das eine in endlichem Abstand liegende Objektebene (1) auf eine Retikelebene (19) abbildet,  
 - mit einem Kondensorsteil (100), ausgebildet als vorderes Teilobjektiv, dessen Bildebene im Unendlichen liegt, dessen Blende in der Objektebene (1) des gesamten REMA-Objektivs liegt,  
 - mit einem Zwischenteil (200) und  
 mit einem Feldlinsenteil (300),

dadurch gekennzeichnet, daß Kondensorsteil (100), Zwischenteil (200) und Feldlinsenteil (300) je eine bis zwei asphärische Linsenflächen (7, 11, 17) enthalten, wobei insgesamt nicht mehr als fünf, vorzugsweise nicht mehr als vier, asphärische Flächen (7, 11, 17) vorhanden sind, und daß die Gesamtzahl der Linsen maximal 10 ist.

3. REMA-Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Glasweg in den Linsen maximal 30%, vorzugsweise maximal 25%, des Abstandes von Objektebene (1) und Retikelebene (19) beträgt.

4. REMA-Objektiv nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine optische Fläche mit einem größten Betrag des Sinus des Auftreffwinkels gegen die Flächennormale eines Randstrahls in Luft (sin( $i_{\text{Rand}}$ )) größer als das 0,8-fache der objektseitigen numerischen Apertur (NAO) vorhanden ist.

5. REMA-Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-4, dadurch gekennzeichnet, daß es ein Teilobjektiv (100) enthält, welches eine hinsichtlich der Koma korrigierte Pupillenebene (14) erzeugt.

6. REMA-Objektiv nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Teilobjektiv (100) mindestens eine zur Objektebene (1) hin gekrümmte Hohlfläche (4) aufweist, an der das Öffnungsverhältnis von Krümmungsradius zu Linsendurchmesser kleiner als 0,65 ist.

7. REMA-Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-6, gekennzeichnet durch die Verwendung in einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage, in der die Retikel-Maskierung (90) am Ausgang eines Glasstabs (80) angeordnet ist.

8. REMA-Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-7, gekennzeichnet durch die Verwendung in einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage, in der das Projektionsobjektiv (400) ein verkleinerndes katadioptrisches Objektiv ist.

9. REMA-Objektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es aus einem Kondensorsteil (100), ausgebildet als vorderes Teilobjektiv, dessen Bildebene im Unendlichen liegt, dessen Blende in der Objektebene (1) des gesamten REMA-Objektivs liegt, einem Zwischenteil (200) und einem Feldlinsenteil (300) aufgebaut ist.

10. REMA-Objektiv nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es drei- bis achtfache Vergrößerung aufweist.

11. REMA-Objektiv nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es einen Bildfelddurchmesser größer als 80 mm aufweist.

12. REMA-Objektiv nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es eine bildseitige numerische Apertur von über 0,10 aufweist.

13. REMA-Objektiv nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es einen Lichtleitwert größer als 10 mm hat.

14. REMA-Objektiv nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildung einer Hell-Dunkel-Kante von der Objektebene (1) auf die Retikelebene (19) einen Kantenverlauf ergibt, dessen Helligkeitswerte 5% und 95% um weniger als 2%, vorzugsweise weniger als 0,5%, des Bildfelddurchmessers auseinanderliegen.

15. REMA-Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1-14, dadurch gekennzeichnet, daß es eine vorgegebene Pupillenfunktion mit Werten des sin( $i$ ) im Bereich  $\pm 10$  mrad mit Abweichungen unter  $\pm 1$  mrad, insbesondere unter  $\pm 0,3$  mrad reproduziert.

16. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einer Beleuchtungseinrichtung enthaltend ein vergrößerndes REMA-Objektiv (123) und mit einem verkleinerndem Projektionsobjektiv (400), wobei die Pupillenebene (12) des REMA-Objektivs (123) in die Pupillenebene (410) des Projektionsobjektivs (400) abgebildet wird und in jedem Punkt der Retikelebene (330) der ankommende Hauptstrahl des REMA-Objektivs (123) nur weniger als 3 mrad, vorzugsweise weniger als 0,3 mrad, vom Hauptstrahl des Projektionsobjektivs (400) abweicht, dadurch gekennzeichnet, daß das REMA-Objektiv (123) maximal 10 Linsen mit maximal 5, vorzugsweise maximal 4, asphärischen Flächen aufweist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

FIG. 1

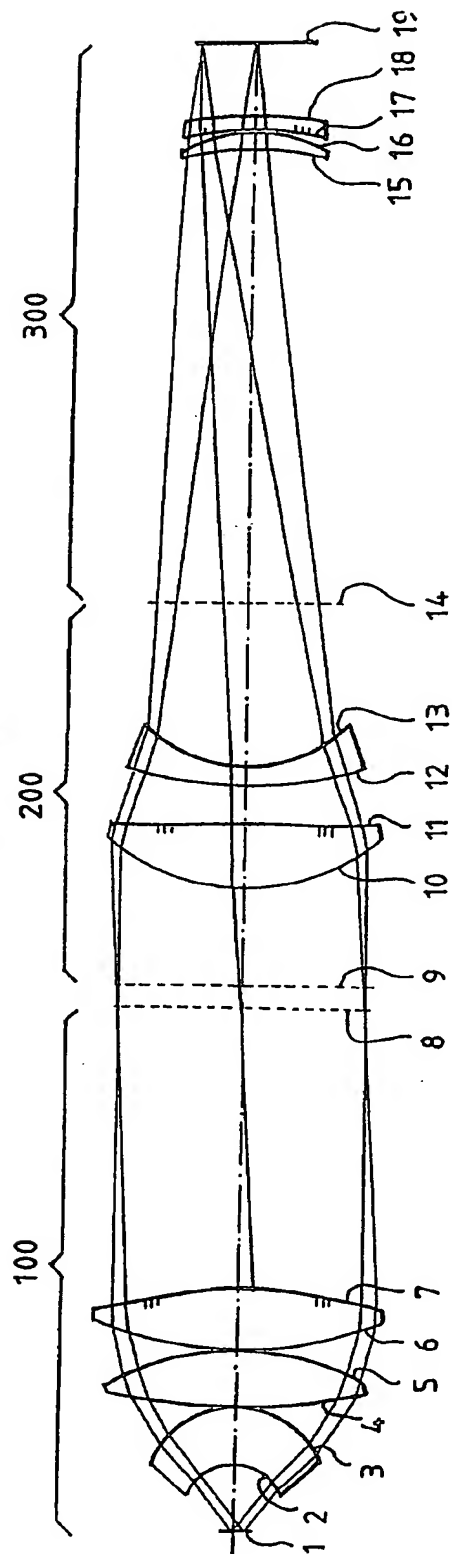
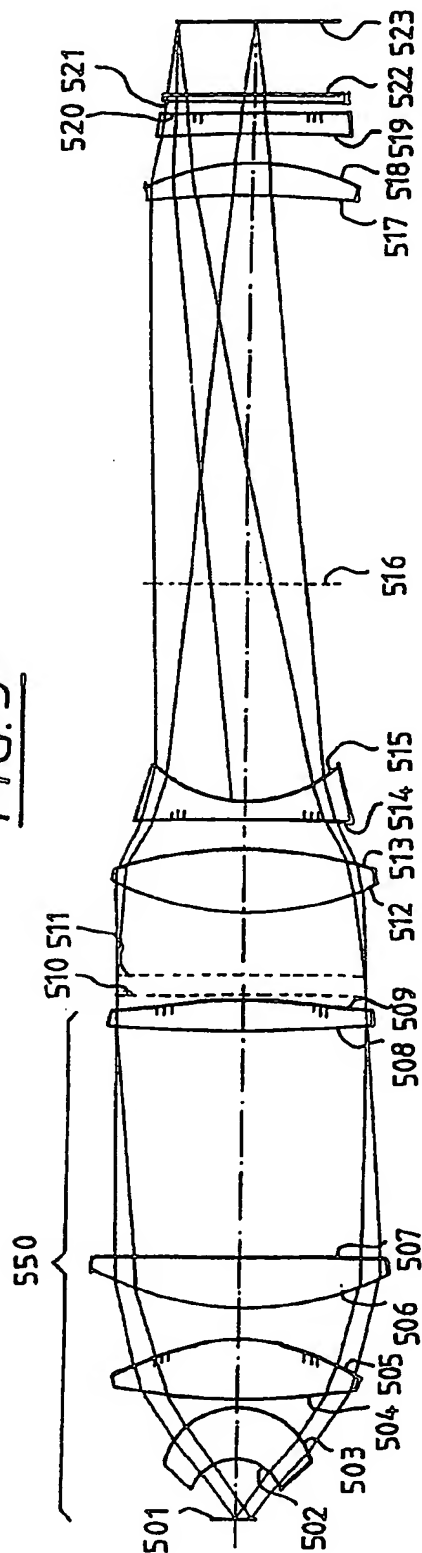


FIG. 5



Nummer:  
Int. Cl.<sup>6</sup>:  
Offenlegungstag:

DE 196 53 983 A1  
G 02 B 13/24  
25. Juni 1998

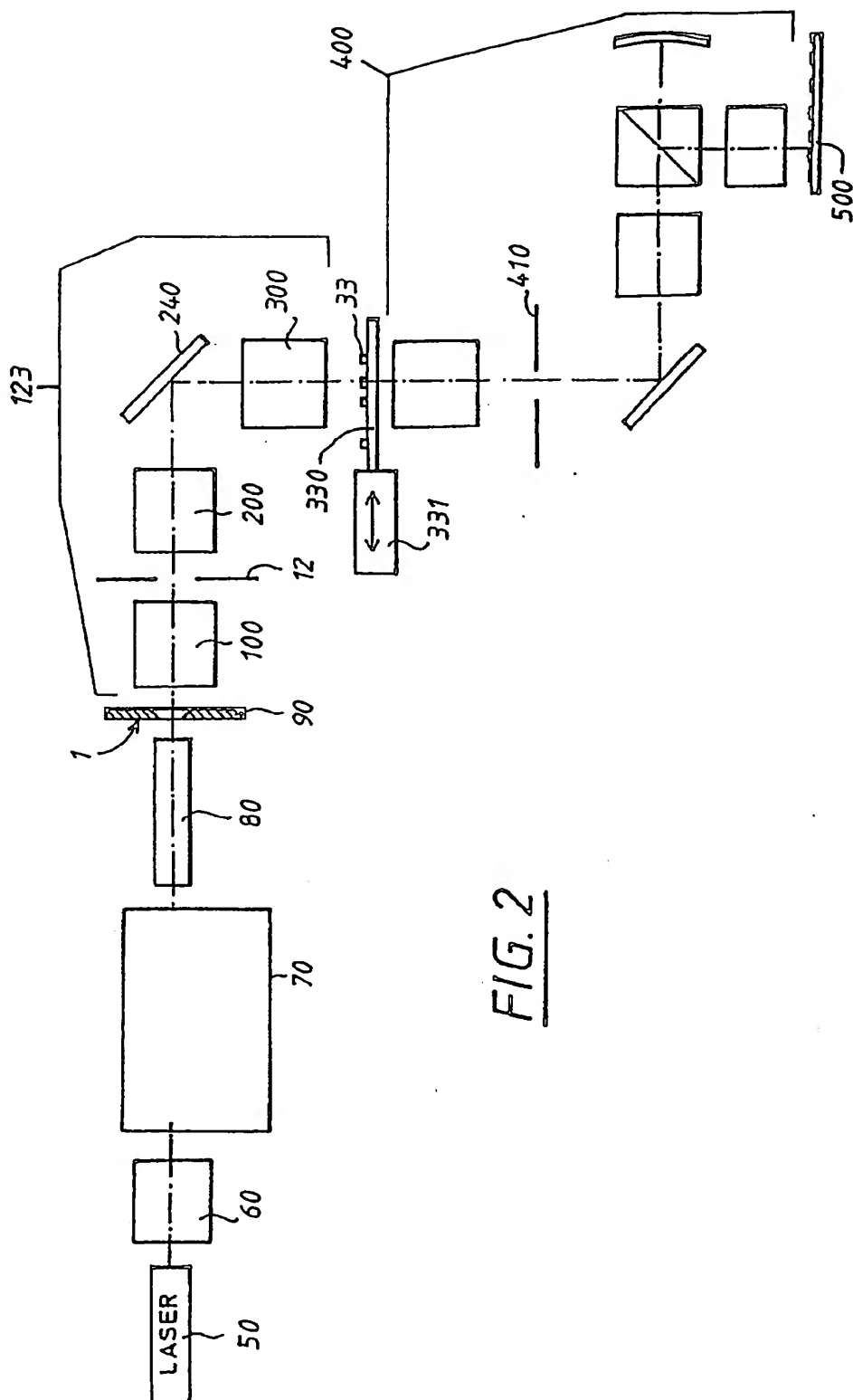


FIG. 2



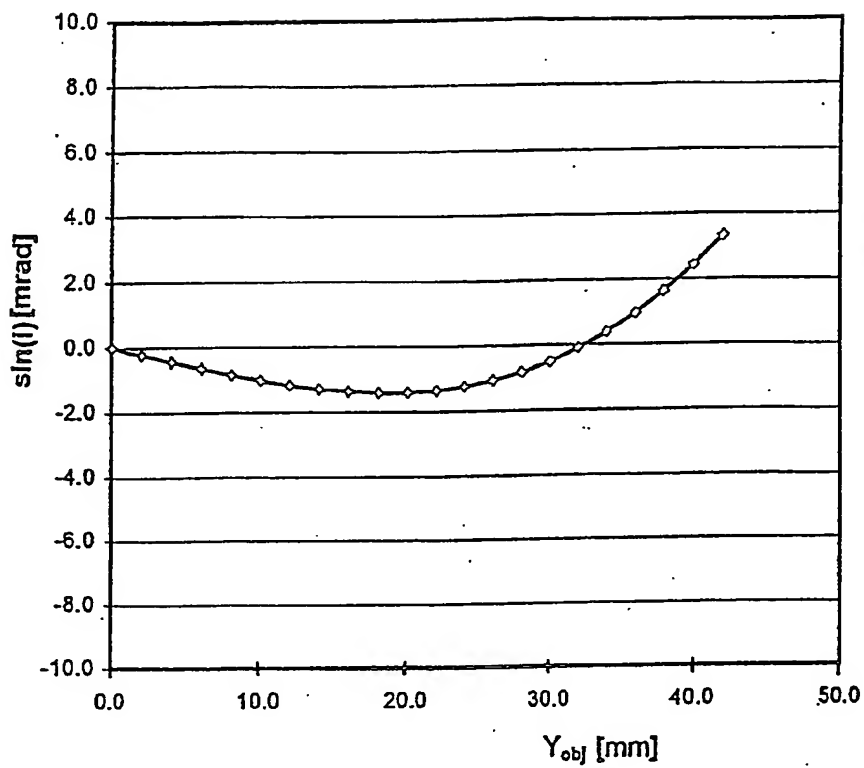


FIG. 3

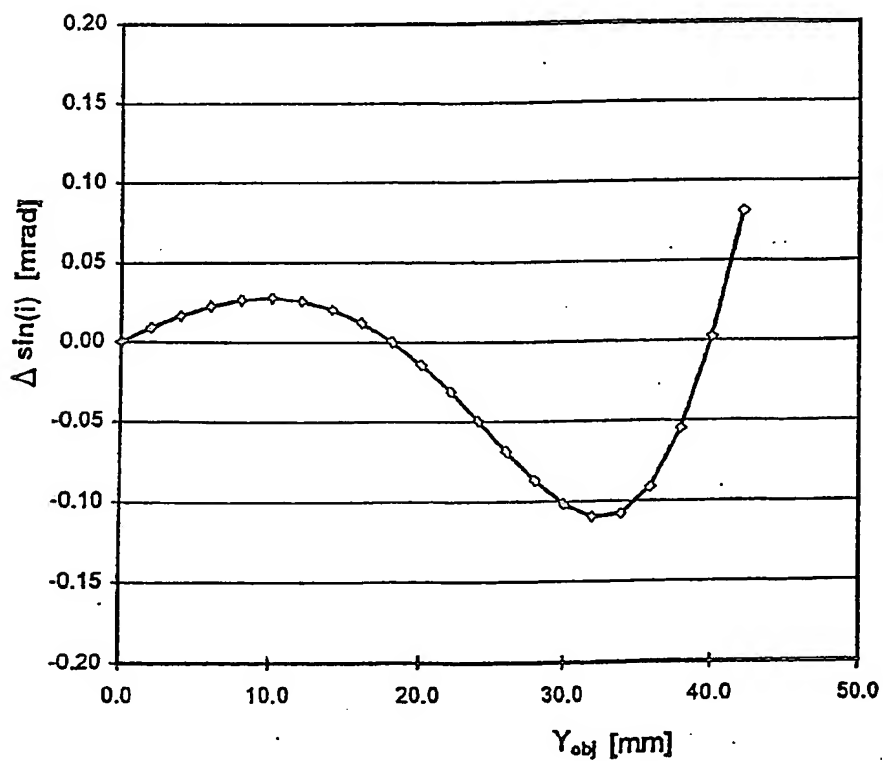


FIG. 4